

# 地形提示与告警系统试飞研究

## Flight Test Research of Terrain Awareness and Warning System

苏翼 蔡俊 / Su Yi Cai Jun

(中国商飞民用飞机试飞中心,上海 200436)

(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200436, China)

### 摘要:

对地形防撞系统的试飞技术和试飞风险规避进行研究。首先介绍了 TAWS 子模式功能。然后详细分析了各子模式的试飞技术。阐述了 TAWS 系统试飞的主要风险源,并分析相应风险源的规避措施。最后,通过实例论证了 TAWS 试飞技术的应用性,为新型号飞机 TAWS 试飞工作安全、有效的开展提供了参考。

**关键词:**地形防撞系统;试飞技术;试飞风险

**中图分类号:**V217

**文献标识码:**A

[**Abstract**] This paper mainly focuses on the research of flight test technique and flight test hazard of TAWS (Terrain Awareness and Warning System). In the first part, every sub-mode function of TAWS is introduced briefly. Then in the second part, flight test technique of each sub-mode is analyzed. In the third part we expound the source of flight test hazards and analyze how to minimize those hazards. At last, we verify the applicability of flight test technique by an example. The research method can provide useful reference for TAWS flight test work on the new type of aircraft.

[**Key words**] TAWS (Terrain Awareness and Warning System); flight test technique; flight test hazards

## 0 引言

地形防撞系统(Terrain Awareness and Warning System,简称TAWS)主要是为了防止由于机组失误、恶劣天气造成飞机在机体功能完好的情况下撞向地形或者障碍物,也就是所谓的受控撞地(CFIT)事故的发生。TAWS其实是地形防撞系统的统称,其中具有基本的地形防撞功能的系统叫近地警告系统(GPWS),具有增强功能的叫增强型近地警告系统(EGPWS),都是TAWS“家族”的成员之一。

1975年以前,世界范围内的商用喷气式飞机平均每年发生7~8次CFIT事故,CFIT事故成为了当时导致商用喷气式飞机机毁人亡事故的主要原因之一。自从飞机上出现了GPWS以后,CFIT发生的概率大大降低。GPWS通过计算机监控飞机自身参数(如气压变化率、飞机构型、空速等参数)和无线电高度,判断飞机是否存在CFIT危险,并发出告警。

但是GPWS的设计也存在一定的局限性,它依赖于无线电高度表感知与下方地形距离的变化,而无法

得知飞机前方地形的变化情况,当前方出现陡峭上升地形时,GPWS系统则无法发出警告。

随后出现的EGPWS,在GPWS的基础上进行了改进,增加了地形数据库。EGPWS通过当前飞机状态(空速、构型、气压变化率等)预测未来飞行轨迹,与地形数据库中的地形数据进行比较,判断飞机前方是否存在CFIT风险。EGPWS的出现进一步降低了CFIT事故的发生率。从2005年3月以后,联邦航空局(FAA)要求所有6座以上的涡轮动力飞机安装TAWS系统,而大型飞机早在1992年就要求必须安装TAWS系统。

## 1 TAWS功能

TAWS主要分为Class A、Class B和Class C三个等级,其中Class A的设备拥有完整的TAWS告警功能,适用于9座以上,起飞重量大于5700kg的运输飞机。Class B和Class C的设备只具有部分TAWS告警功能,一般用于小型飞机。本文着重于Class A级TAWS,以下所有TAWS均指Class A级TAWS。

TAWS 提供反应型告警功能和预测型告警功能。反应型告警功能即为 GPWS 的 6 个子模式,分别是:

(1)模式 1——下降率过大

下降率过大模式采用无线电高度和大气数据(相应计算出垂直高度变化率)作为输入,判断飞机在当前高度下的下降率是否有撞地风险。

(2)模式 2——接近地形速率过大

接近地形速率过大模式采用无线电高度表、飞机接近地形的速率(由飞机位置信息和地形数据库信息综合得到)和襟翼位置作为输入,同时根据襟翼构形不同分为 2A(襟翼非着陆构形)和 2B(襟翼着陆构形)两个子模式。TAWS 系统持续监控不同构形下飞机的无线电高度和接近地形速率,判断当前状态下飞机与地形的距离(无线电高度)和接近地形速率不存在 CFIT 风险。

(3)模式 3——起飞后负爬升率或掉高度

起飞后负爬升率或掉高度模式采用无线电高度表和气压高度变化率作为输入,在起飞、复飞阶段持续监控飞机是否在低高度出现负爬升率或高度损失。

(4)模式 4——非着陆构型撞地

非着陆构型撞地模式采用无线电高度表、空速、起落架和襟翼位置作为输入,这个模式根据起落架和襟翼位置不同分为 3 个子模式:4A,4B 和 4C。

4A 模式一般适用于航路和进近阶段,起落架不在着陆构形。4B 模式一般也适用于航路和进近阶段,起落架处于着陆构形,襟翼不在着陆构形。4C 模式适用于起飞阶段,起落架或襟翼不在着陆构型。模式 4 的任一子模式下,TAWS 都会持续监控飞机当前空速和与地形的高度间隔,当飞机存在 CFIT 风险时,发出告警。

(5)模式 5——相对下滑道下偏过大

相对下滑道下偏过大模式适用于进近阶段,使用 ILS 进行着陆。TAWS 持续监测飞机下偏下滑道的程度,若飞机下偏下滑道程度过大,TAWS 随即发出告警。

(6)高度呼叫/倾角过大

高度呼叫模式是当飞机通过 500ft AGL 高度的时候产生一个语音咨询信息。倾角过大模式是当飞机倾角过大时产生警戒告警。

此外,在 EGPWS 中,增加了以下两个预测型告警功能:

FLTA 功能根据飞机水平和垂直航迹前方和下方的地形信息(地形数据库),结合飞机的航路,判断是否存在潜在的 CFIT 风险,提供合适的告警信息。

PDA 功能从合适的导航源(一般为 GPS 或 FMS)和机场数据库取得飞机当前位置和飞行轨迹信息,判断飞机是否低于正常的进近航迹(一般为 3°下滑),并发出相应警告。

TAWS 系统框图如图 1 所示。

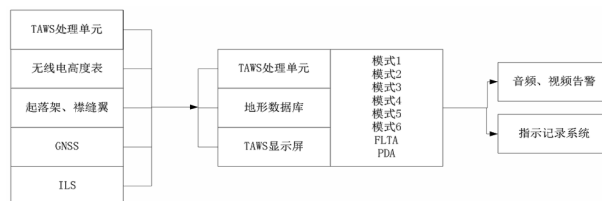


图 1 TAWS 系统框图

## 2 TAWS 试飞技术

AC25-23 中提供了 TAWS 不同模式试飞的相关方法,现有相关法规中并没有明确指出 TAWS 系统的每一个子模式都需要试飞。对于 TAWS 系统的试飞程度,AC25-23 提出了是否进行试飞验证的参考建议;任何与首次安装或新设计的传感器有交联的 TAWS 模式都应该进行试飞验证。此外,AC25-23 中还给出了 6 个例子,表明不同的设计状态对应不同的试飞程度,如表 1 所示。

表 1 TAWS 试飞测试例子矩阵

TAWS 功能	例 1	例 2	例 3	例 4	例 5	例 6
FLTA	×	×	×	×		×
PDA	×	×			×	×
基本 GPWS 功能	×				×	
地形显示屏	×		×	×		×
水平位置源	×			×		×

(1)例 1 是一个 TAWS 供应商的设备首次安装在一个申请 TC/STC 的飞机上的情况,建议在这种情况下,飞机需完成 AC25-23 中完整的地面和飞行试验。

(2)例 2 是一个之前验证过的 TAWS 系统,但是没有验证某个特定供应商提供的传感器的输入,则需要重复与这个传感器输入相关的所有子模式试验。例如大气高度的输入是未经验证的,则需重复大气高度会影响的子模式的试验,如 FLTA 和 PDA。

(3)例 3 是一个之前验证过的 TAWS 系统,但是地形显示屏功能没有验证,则需要重复地形显示屏功能相关的试验。

(4)例 4 是一个之前验证过的 TAWS 系统,但是水平位置传感器的输入没有验证,则需要重复与水平位置传感器输入相关的子模式的试验。

(5)例5是一个之前验证过的 TAWS 系统,但是无线电的输入没有验证,则需要重复与无线电高度表相关的子模式的试验。

(6)例6是由同一个供应商将 TAWS 进行了升级,并不改变 GPWS 的逻辑和输入,则无需重复 GPWS 功能的试验。

本文以新设计的飞机为例,探讨 TAWS 每个模式的试飞方法、试飞技术和注意事项。

### 2.1 TAWS 模式1——下降率过大

模式1的试飞应选择平坦地形,操纵飞机从一定的高度以一定的下降率下降,触发“SINK RATE SINK RATE”警戒告警和“PULL UP”警告告警。模式1的告警触发与离地高度和下降率有关,为了在较高高度触发告警,以保证高度上的安全裕度,推荐使用较大的下降率下降(如3000ft/min)进行试验。模式1只需要进行一次试飞,验证 TAWS 安装正常。TAWS 模式1如图2所示。

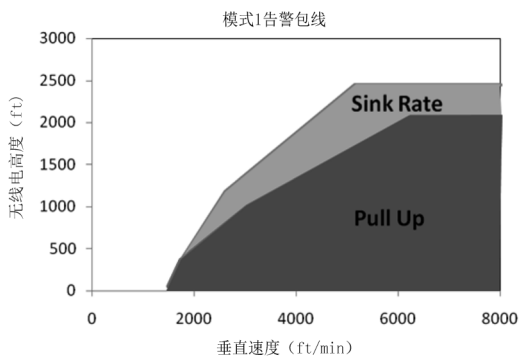


图2 TAWS 告警典型包线-模式1

### 2.2 模式2——接近地形速率过大

模式2的告警与模式1略有不同,模式1只在飞机下降过程中才可能触发,而模式2即使飞机在平飞过程中,若下方有上升山脉导致飞机离地间隔缩小也有可能触发。

为区别模式1和模式2的告警,模式2试飞一般选择在有一段上升地形的区域进行;操纵飞机在飞行区域内最高地形以上约500ft~1000ft,以一定航迹、地速、航向平飞过上升地形,触发“TERRAIN TERRAIN”警戒级告警和“PULL UP”警告级告警。由于模式2的告警逻辑与接近地形速率和距离地面高度有关,为了顺利触发模式2告警,选择的上升地形需要较为陡峭,在飞机平飞过程中能提供2000ft/min以上的地形接近速率。

### 2.3 模式3——起飞后负爬升率或掉高度

模式3的试飞可操纵飞机正常起飞,收起起落架,

爬升至无线电高度约700ft,再以一定下降率(推荐100ft/min左右)下降,触发“DON'T SINK”警戒级告警。

### 2.4 模式4——非着陆构形撞地

模式4的子模式A、B可在一次试飞中完成,操纵飞机以巡航构型在一定的高度,以一定的下降率下降,触发“TOO LOW TERRAIN”警戒级告警,降低指示空速,继续下降,触发“TOO LOW GEAR”警戒级告警后,放下起落架继续下降,直到触发“TOO LOW FLAPS”警戒级告警。在进行试验时要特别注意的是模式4的告警逻辑:当指示空速为某一特定值以上时(因不同型号飞机而不同),系统认为飞机不在着陆阶段,此时距离地形过近,会触发“TOO LOW TERRAIN”警戒级告警;若指示空速为某一特定值以下时,系统认为飞机处于着陆阶段,若起落架为收上状态,则会触发“TOO LOW GEAR”警戒级告警;若起落架为着陆构型,襟翼不为着陆构型,则会触发“TOO LOW FLAPS”警戒级告警。故在模式4A、4B试飞中,需要特别注意空速的选择。

模式4子模式C需选择一个在跑道延长线上有上升地形的机场,在起飞爬升到一定高度后,保持平飞,触发“TOO LOW TERRAIN”警戒级告警。

### 2.5 模式5——相对下滑道下偏过大

模式5可选择标准的 ILS 进场,截获下滑道后操纵飞机下偏依次下滑道1.3dot和2dot,两次触发“Glideslope”警戒级告警。模式5根据下偏程度,会发出不同音量的告警。由于本次试验需要飞机下偏下滑道程度较大,故在试验中需注意保持最低安全高度。此外,选择的 ILS 地面设备需在有效校验周期内。

### 2.6 高度呼叫/倾角过大

高度呼叫可进行一次正常的进近着陆,设置某一决断高度,验证在决断高度和500ft有语音提示。对于倾角过大,可操纵飞机稳定平飞,逐渐向左/右增大倾角,直到触发“Bank Angle”告警,操纵飞机回到稳定平飞状态。

### 2.7 前视地形防撞(FLTA)

FLTA 功能试飞需要选择一个地形或者人工建筑标高大约300ft高度的区域,且距离最近的机场至少15nm,操纵飞机在目标物最高点以上大约500ft以一定速度平飞,触发FLTA告警。由于FLTA的告警与当前飞机地速和前方障碍物有关,FLTA测试应特别注意风向、风速,避免为了得到较低地速造成指示空速过低,引起失速。

## 2.8 过早下降(PDA)

PDA 功能试飞选择距离机场 10nm 的区域,操纵飞机以着陆构形在约 1 500ft AGL 处开始 3°下滑角下降,并保持朝着机场飞行,直到触发 PDA 告警。此外,选择 PDA 功能试飞的机场附近的地形应该相对平坦,以避免触发 FLTA 的告警。

此外,除了 TAWS 各子模式的试飞试验外,还应评估 TAWS 显示屏的显示、TAWS 操作的人机功效、TAWS 告警与 TCAS 告警的优先级排布、告警模式转换等,这些试验可通过地面测试和模拟机测试完成。

## 3 TAWS 试飞风险分析及规避

一般来说,国内外试飞机构都将 TAWS 试飞定义为风险试飞科目,主要是由于 TAWS 试飞中需要创造 CFIT 条件以触发 TAWS 告警,而且 TAWS 试飞一般在低高度飞行,所以还存在鸟击、低空碰撞等风险。如何在试飞中规避这些风险,保障安全,是试飞准备的重中之重。本文提出一些 TAWS 试飞中风险规避的思路,以供参考。

### 3.1 CFIT 风险规避

CFIT 是 TAWS 试飞中最主要的风险来源,TAWS 模式 2、模式 4、FLTA 功能试飞都需要靠近地形飞行,在试飞中机组注意力分散、TAWS 告警失效、机组对地形不熟悉等因素都有可能造成受控撞地,导致机毁人亡的事故。可通过以下措施降低 CFIT 风险:

- (1) 飞行讲评前覆盖试飞中所有测试机动动作、试飞区域地形特点、终止实验的安全条件和改出程序;
- (2) 试验前,机组成员熟悉试验区域附近地形;
- (3) 每一模式的试飞都设置最低试验高度和安全高度,飞行中一旦机组任何成员对安全部分产生疑问或飞机降至最低试验高度,终止试验,爬升至预设安全高度;
- (4) TAWS 所有试验需在目视气象条件下进行。

### 3.2 鸟击风险规避

由于 TAWS 试验的高度多为鸟类活动高度,TAWS 试飞存在一定鸟击风险,为了降低风险,可进行如下措施降低风险:

- (1) 在目视气象条件下进行试验;
- (2) 试验前调查试验区域鸟类群活动情况,并在试验前进行驱鸟,试验中设置观察员观察有无鸟类在附近活动。

### 3.3 低空碰撞风险规避

由于 TAWS 试验的高度多为交通繁忙的高度,空

域中存在较多其他飞机,而机组关注在试验上,可能导致忽视周围的交通情况,这些都增加了低空碰撞的概率。为了防止低空碰撞,可进行以下措施:

- (1) 在试验前调查试验区域的交通情况,尽量避开繁忙交通区域,或选择交通较为空闲的时间段;
- (2) 选择在白天目视气象条件下进行试验;
- (3) 使用 TCAS 预防碰撞事故;
- (4) 一个飞行员或观察员作为安全检查员监测飞机接近地形、附近交通情况,值得注意的是当 TAWS 警告出现时,TAWS 警告优先级高于 TCAS。

## 4 模式 4 试飞实例

下面以国外某型飞机 TAWS 模式 4A 和 4B 试飞为例,将上述试飞方法应用在试飞中。该次试验在国外某型飞机 Class D 模拟机上进行,试验选择在洛杉矶国际机场(KLAX)区域进行。

试飞员操纵飞机沿着 07L 航向道飞行,保持巡航构形(襟翼 0 卡位,起落架收上位),指示空速 230 节。从无限电高度 1 200ft 开始下降,保持下降率 300ft/min。当飞机下降到无线电高度 800ft 时,TAWS 响起“Too Low Terrain”告警。试飞员随即改平飞机,开始减速。在减速过程中,试飞员将襟翼放置到 3 卡位。当空速低于 225 节,“Too Low Terrain”告警消失。当飞机减速到 150 节后,试飞员操纵飞机保持下降率 200ft/min 继续下降。当飞机下降到无线电高度 490ft,TAWS 响起“Too Low Gear”告警。试飞员随后改平飞机,放下起落架,“Too Low Gear”告警消失。此后,飞机继续以 150 节速度,下降率 200ft/min 下降。当下降到无线电高度 240ft,响起“Too Low Flaps”告警,试飞员拉起飞机执行复飞程序。飞行剖面模式和模式 4A、4B 对应告警包线如图 3 所示。

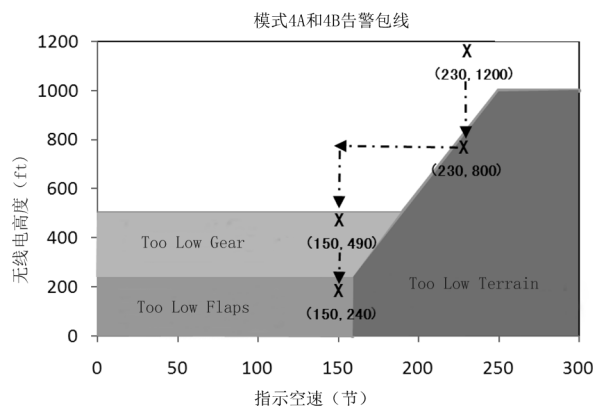


图 3 TAWS 模式 4A、4B 告警包线和试飞试验飞行剖面

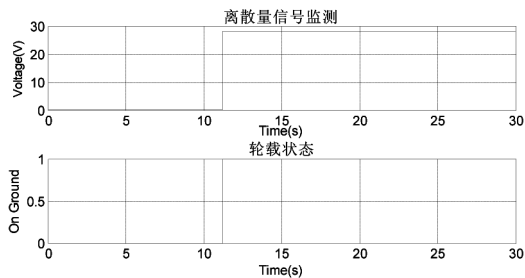
## 5 结论

本文阐述了 TAWS 的系统功能、试飞方法和试飞风险及其规避措施,并通过实例论证了可行性。在 TAWS 试飞中,寻找具有合适地形的机场和试飞风险的规避是试飞工作中的难点。对于 TAWS 模式 1、模式 3、模式 4 功能应选择开阔平坦地形的机场附近进行,模式 2、模式 6 应选择在有上升地形的区域进行,模式 5 则应选择有 ILS 地面设备的机场机型。此外,TAWS 试验需要飞行员操纵飞机朝着地形飞去,对飞行员的心理素质也提出了很高的要求,在前期试飞准备工作中,特别是风险降低保障工作中也应注意这一点。

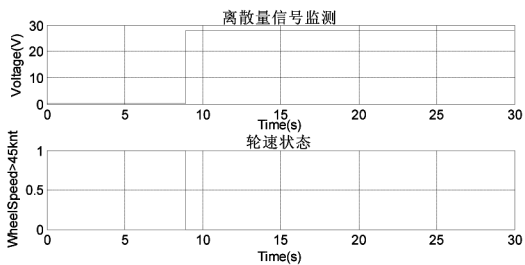
### 参考文献:

- [1] Robert E. Mcshea. Test and Evaluation of Aircraft Avionics and Weapon Systems[M]. America, SciTech Publishing.
- [2] AC25-23, Airworthiness Criteria for the Installation Approval of a Terrain Awareness and Warning System (TAWS) for Part 25 Airplanes[S]. May 22, 2000.
- [3] TSO-C151b, Terrain Awareness and Warning System[S]. December 17, 2002.
- [3] 吴琛. 地形提示和警告系统研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2012, 1: 32-34.
- [4] 杨剑, 曹红旗, 李靖. 近地告警系统飞行试验技术[J]. 航空电子技术, 2010, 41(3): 41-45.

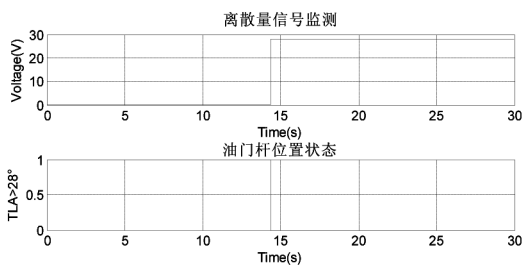
(上接第 20 页)



(a)



(b)



(c)

图 8 离散量信号与飞机状态对比

试验结果表明:本文设计的离散量输出电路满足试验需求。

## 5 结论

为满足飞控系统地面模拟试验的信号需求,本文设计简单、可靠性高的离散量信号输出电路,对其进行仿真分析,并在某型号民用飞机铁鸟试验台上进行试验验证。该离散量信号输出电路能够满足试验要求。目前,该电路已经成功应用于某型号民用飞机飞控系统地面模拟试验。

### 参考文献:

- [1] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [2] 刘林, 郭恩友. 飞行控制系统的分系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [3] 黄培根, 任清寰. Multisim 10 计算机虚拟仿真实验室[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [4] 曹全新, 王学锋, 胡兴荣. 航空电子综合仿真系统研究[J]. 测控技术, 2008, 27(2): 76-79.
- [5] 王树丛. 飞控综合测试平台硬件系统设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.